CÁLCULO DO DANO ACUMULADO POR FADIGA EM DUTOS FLEXÍVEIS NO TRANSPORTE DE PETRÓLEO OFFSHORE

Mariana Cristina Pereira e Silva [(1)] (mariana.pereira@engenharia.ufjf.br), Henrique Ayres de Oliveira[(1)] (henrique.ayres@engenharia.ufjf.br), Marcos Vinícius Rodrigues[(1)] (marcos.rodrigues@engenharia.ufjf.br), Antonio Angelo Missiaggia Picorone[(1)] (antonio.picorone@engenharia.ufjf.br)

[(1)] Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF); Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica

RESUMO: *Este estudo consiste em uma revisão bibliográfica sobre dutos flexíveis utilizados em transporte de petróleo offshore e em uma análise da ocorrência de falha por fadiga nas armaduras de tração destas estruturas. Para tal, as normas recomendadas para dimensionamento e projeto geral de dutos flexíveis foram tomadas como base. Desta forma, foi aplicado o método de Palmgren-Miner para o cálculo do dano linear acumulado através de uma rotina computacional, considerando um carregamento hipotético em dois ambientes operacionais distintos, ar e água do mar, levando-se em conta variações de esforços operacionais típicos, assim como variações de esforços de ocorrência extremas. Após os cálculos, os resultados numéricos demonstram o efeito do ambiente operacional no dano acumulado das armaduras de tração ao incluir a influência de substâncias corrosivas no espaço anular entre as armaduras destes dutos. O cálculo mostra também, que com o carregamento hipotético utilizado, em nenhum dos casos, haveria a ocorrência de falha por fadiga.*

PALAVRAS-CHAVE: *DUTOS FLEXÍVEIS, FADIGA, PETRÓLEO, PALMGREN-MINER.*

CALCULATION OF ACCUMULATED FATIGUE DAMAGE IN FLEXIBLE PIPELINES IN OFFSHORE OIL TRANSPORTATION

ABSTRACT: *This study consists of a literature review on flexible pipelines used in offshore oil transportation and a simplified analysis of the occurrence of fatigue failure in the tensile armour of these structures. To this end, the recommended standards for the design and general project of flexible pipelines were taken as a basis. In this way, the Palmgren-Miner method was applied for the calculation of the accumulated linear damage through a computational routine, considering a hypothetical loading in two distinct work environments, air and sea water, taking into account low typical operational stresses, as well as high stresses of extreme occurrence. After the calculations, the numerical results show the effect of the operational environment on the accumulated damage in the tensile armour by including the influence of corrosive substances in the annular space of armours in these pipes. The calculation also demonstrates that, with the hypothetical loading used, in none of the cases, there would be the occurrence of fatigue failure*.

KEYWORDS: *FLEXIBLE PIPELINE, FATIGUE, OIL, PALMGREN-MINER.*

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Dutos flexíveis

Os dutos flexíveis foram introduzidos na indústria de exploração de petróleo e gás offshore na década de 1970, com sua implantação inicial em águas rasas conforme descrito por Bai e Bai et al. (2014). Hoje, as aplicações de dutos flexíveis incluem profundidades de água de até 2.500 metros, altas pressões de até 69 MPa, bem como a capacidade de suportar grandes movimentos de embarcações em condições climáticas adversas. A principal característica de um tubo flexível é sua baixa curvatura relativa à rigidez axial devido à sua construção baseada em tubos concêntricos. Esta característica é alcançada através do uso de várias camadas de diferentes materiais na fabricação da parede do tubo. Essas camadas podem deslizar umas sobre as outras quando sob a influência de cargas externas e internas. A estrutura composta de tubo flexível combina camadas de armadura de aço com alta rigidez para fornecer força e camadas de vedação de polímero com baixa rigidez para fornecer integridade de fluido. Algumas de suas vantagens incluem pré-fabricação, armazenamento em longos comprimentos em bobinas, custos reduzidos de transporte e instalação e adequação para uso com estruturas compatíveis. De acordo com Barbosa et al. (2018), os dutos flexíveis tem como configuração básica:

a) Carcaça: comumente de aço inoxidável, é a camada mais interna do duto e tem como função evitar o colapso do tubo devido à pressão hidrostática ou acúmulo de gases no anular.
b) Camada de polímero interna: A bainha de polímero interna fornece uma barreira para manter a integridade do fluido de trabalho.
c) Armadura de Pressão: Tem função de suportar a tensão na parede do duto devido à pressão do fluido interno. A armadura de pressão é enrolada em torno da camada de polímero interna e é feita de fios entrelaçados.
d) Armadura de Tração: As camadas de armadura de tração são usadas para suportar o peso de todas as camadas de tubos e para transferir a carga através do encaixe final para a estrutura da embarcação ou plataforma.
e) Camada externa de polímero: Funciona como barreira contra a água do mar, além de proteção do duto contra choques com outros objetos durante a instalação e operação.
f) Anular: espaço entre as camadas poliméricas interna e externa. Estas camadas são permeáveis a alguns líquidos e gases, de forma que estes podem se acumular no anular.

De acordo com Gasparetto et al. (2017) além da aplicação para transporte de óleo e gás, os dutos flexíveis também podem ser utilizados para injeção de gás ou de água nos poços, ou para linhas de sistemas de controle, chamadas de umbilicais. Modificações na estrutura básica, mostrada na Figura 1, geralmente são realizadas de forma a melhor adaptar o duto para a aplicação.



FIGURA 1. Configuração típica de um duto flexível. Fonte: Gasparetto (2017)

Da mesma forma, os dutos flexíveis podem ser utilizados para aplicações estáticas, como as chamadas flowlines, que ficam apoiados no leito marinho, ou em aplicações dinâmicas, como risers, suspensos das embarcações ou plataformas e sujeitos a diversos esforços variáveis e cíclicos.

Segundo American PetroleumInstitute et al. (2014), a norma 17B especifica as práticas recomendadas quanto a projeto, análise, fabricação, teste, instalação e operação de dutos flexíveis e seus sistemas. Na norma, estão previstos os modos de falha destas estruturas, como por exemplo, colapso, falha por tração, erosão, fadiga, entre outros. O foco deste estudo é a falha por fadiga em risers, uma vez que eles estão suscetíveis a cargas variáveis ao longo do tempo.

1.2 Falha Por Fadiga

A definição de fadiga segundo a norma ASTM E1150 (1993) é: “Processo progressivo e localizado de modificações estruturais permanentes ocorridas em um material submetido a condições que produzem tensões e deformações cíclicas que pode culminar em trincas ou fraturas após um certo número de ciclos.”

Na Figura 2 pode-se observar os estágios de desenvolvimento da falha por fadiga, desde a estrutura submetida a carregamentos dinâmicos até a ruptura final da mesma.

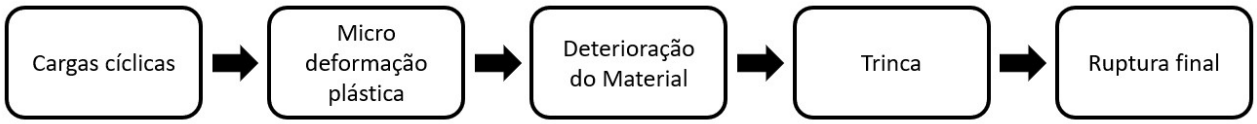


FIGURA 2. Estágios da falha por fadiga. Fonte: Autores (2021).

Assim, a falha por fadiga mostra-se um ponto de grande importância a ser considerado em cálculos estruturais na fase de projetos, assim como a utilização de técnicas de inspeção e monitoramento, com o objetivo de evitar-se falhas catastróficas e súbitas, mesmo estando o material submetido a tensões abaixo do limite de escoamento.

Uma das vantagens no uso de dutos flexíveis ao invés de dutos rígidos em sistemas offshore é a habilidade dos primeiros em absorver impactos de cargas externas, por acompanhar o movimento das instalações flutuantes. Essa característica deriva da sua estrutura interna, na qual cada camada se move livremente em relação às outras. Estes movimentos e cargas externas, por outro lado, podem provocar altas tensões e variações de curvatura no duto, o que pode levar a falha por fadiga e/ou desgaste das camadas metálicas. Dutos flexíveis são estruturas complexas, principalmente do ponto de vista de fadiga e desgaste. Para cada tipo de duto, estes fatores devem ser cuidadosamente avaliados, principalmente na aplicação em risers.

Cálculos de fadiga para risers flexíveis envolvem muitas incertezas devido às simplificações nos dados de carga e modelos matemáticos, além da complexidade inerente ao fenômeno da fadiga e da estrutura complexa com que um duto flexível é construído. Além disso, para este caso, os arames da armadura de tração são as camadas geralmente mais suscetíveis à falha por fadiga, assim como ao desgaste entre camadas.

2. METODOLOGIA

A metodologia adotada para a análise da falha por fadiga neste estudo baseia-se na norma API 17J - American PetroleumInstitute et al. (2009), que define os parâmetros de projeto, fabricação e teste para dutos flexíveis. Desta forma, a norma prevê a análise de fadiga nos arames das armaduras pela regra do dano cumulativo de Palmgren-Miner, juntamente com as curvas de S-N do material em três diferentes condições:

a) Exposição ao ar;

b) Exposição à água do mar;
c) Exposição ao ambiente anular previsto, de acordo com o fluido transportado.

Para cada condição, são especificadas faixas de temperatura e pressão, assim como a maneira em que o material deve ser preparado. Uma vez que será realizada uma abordagem matemática e teórica do problema, estas condições serão simplificadas.

2.1 Curvas S-N

Segundo Shigley et al. (1988), as curvas S-N fornecem a vida de um material em número de ciclos, em função da resistência à fadiga, e são obtidas através de ensaios em que corpos de prova de geometria simples são submetidos a carregamentos de flexão. Estes resultados são apresentados em escala logarítmica e podem ser linearizados.

A partir de DNVGL et al. (2016), obteve-se, por meio das curvas da norma, os dados utilizados para estruturas de aço de aplicação offshore. Estas curvas são linearizadas pela Equação 1 a seguir, onde log representa o logaritmo em base 10.

$$\log N = \log \bar{a} - m \log \Delta\sigma \tag{1}$$

onde *N* é o número de ciclos previsto para falha por fadiga na tensão $\Delta\sigma$, *m* é a inclinação negativa inversa da curva e $\Delta\sigma$ é a variação de tensão em [MPa]. O termo *log* ā é dado pela Equação 2 a seguir,onde log representa o logaritmo em base 10.

$$\log \bar{a} = \log a - 2\, S_{\log N} \tag{2}$$

onde *log a* é a interseção da curva S-N média com o eixo *log N,* e S_{logN} é o desvio padrão de *log N*. Pode-se ver nas Figuras 3 e 4, as curvas para a exposição do material ao ar e à água do mar com proteção catódica. Os coeficientes das curvas S-N são indicados nas Tabelas 1 e 2.

As curvas S-N são dadas para diferentes detalhes construtivos, como juntas parafusadas, com solda contínua, solda transversal ou não soldadas. Neste estudo, inicialmente, foram utilizadas as curvas B1, para material base extrudado, para ambos os ambientes, de forma a comparar o impacto de cada um destes na vida útil do duto.

TABELA 1. Coeficientes das curvas S-N para exposição ao ar.

Curva S-N	N≤ 10^7 Ciclos		N>10^7 Ciclos Log $\bar{a}_2$ m_2 = 5,0	Limite de Fadiga para 10^7 ciclos [MPa]	Expoente de espessura k	Concentração de tensão estrutural embutida no detalhe (Classe S-N)
	m_1	Log $\bar{a}_1$				
B1	4,0	15,117	17,146	106,97	0	-
B2	4,0	14,885	16,856	93,59	0	-
C	3,0	12,592	16,320	73,10	0,05	-
C1	3,0	12,449	16,081	65,50	0,10	-
C2	3,0	12,301	15,835	58,48	0,20	-
D	3,0	12,164	15,606	52,63	0,20	1,00
E	3,0	12,010	15,350	46,78	0,25	1,13
F	3,0	11,855	15,091	41,52	0,25	1,27
F1	3,0	11,699	14,832	36,84	0,25	1,43
F3	3,0	11,546	14,576	32,75	0,25	1,61
G	3,0	11,398	14,330	29,24	0,25	1,80
W1	3,0	11,261	14,101	26,32	0,25	2,00
W1	3,0	11,107	13,845	23,39	0,25	2,25
W3	3,0	10,970	13,617	21,05	0,25	2,50

Fonte: Adaptado de DNVGL (2016).

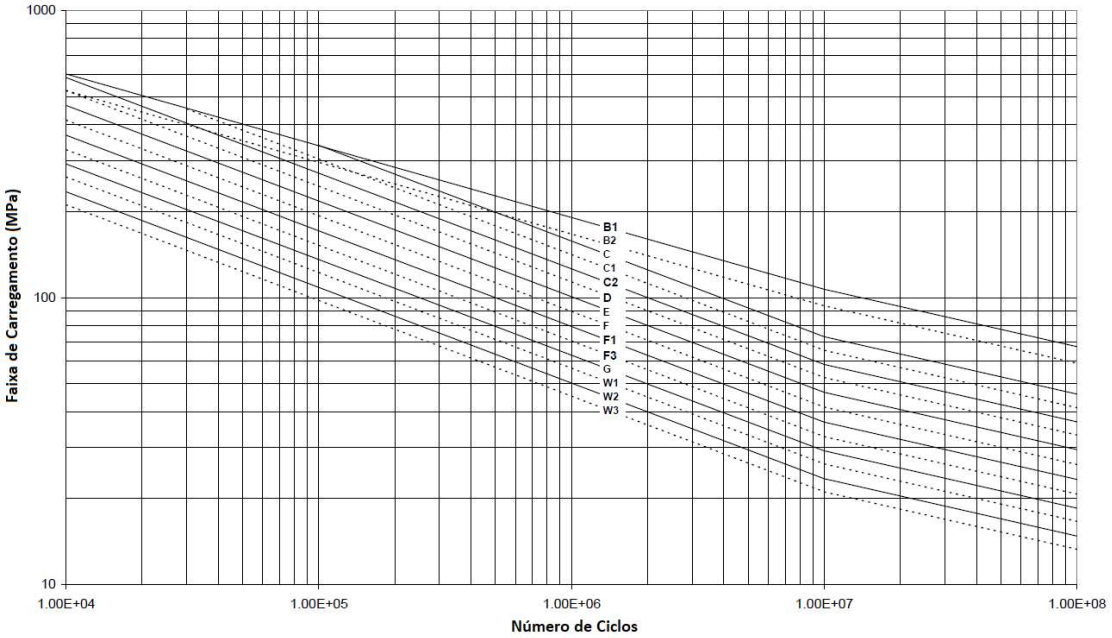


FIGURA 3. Curvas S-N para exposição ao ar. Fonte: DNVGL (2016).

TABELA 2. Coeficientes das curvas S-N para exposição à água do mar com proteção catódica.

Curva S-N	N≤ 10^6 Ciclos		N>10^6 Ciclos Log $\bar{a}_2$ m_2 = 5,0	Limite de Fadiga para 10^7 ciclos [MPa]	Expoente de espessura k	Concentração de tensão estrutural embutida no detalhe (Classe S-N)
	m_1	Log $\bar{a}_1$				
B1	4,0	14,917	17,146	106,97	0	-
B2	4,0	14,685	16,856	93,59	0	-
C	3,0	12,192	16,320	73,10	0,05	-
C1	3,0	12,049	16,081	65,50	0,10	-
C2	3,0	11,901	15,835	58,48	0,20	-
D	3,0	11,764	15,606	52,63	0,20	1,00
E	3,0	11,610	15,350	46,78	0,25	1,13
F	3,0	11,455	15,091	41,52	0,25	1,27
F1	3,0	11,299	14,832	36,84	0,25	1,43
F3	3,0	11,146	14,576	32,75	0,25	1,61
G	3,0	10,998	14,330	29,24	0,25	1,80
W1	3,0	10,861	14,101	26,32	0,25	2,00
W1	3,0	10,707	13,845	23,39	0,25	2,25
W3	3,0	10,570	13,617	21,05	0,25	2,50

Fonte: Adaptado de DNVGL (2016).

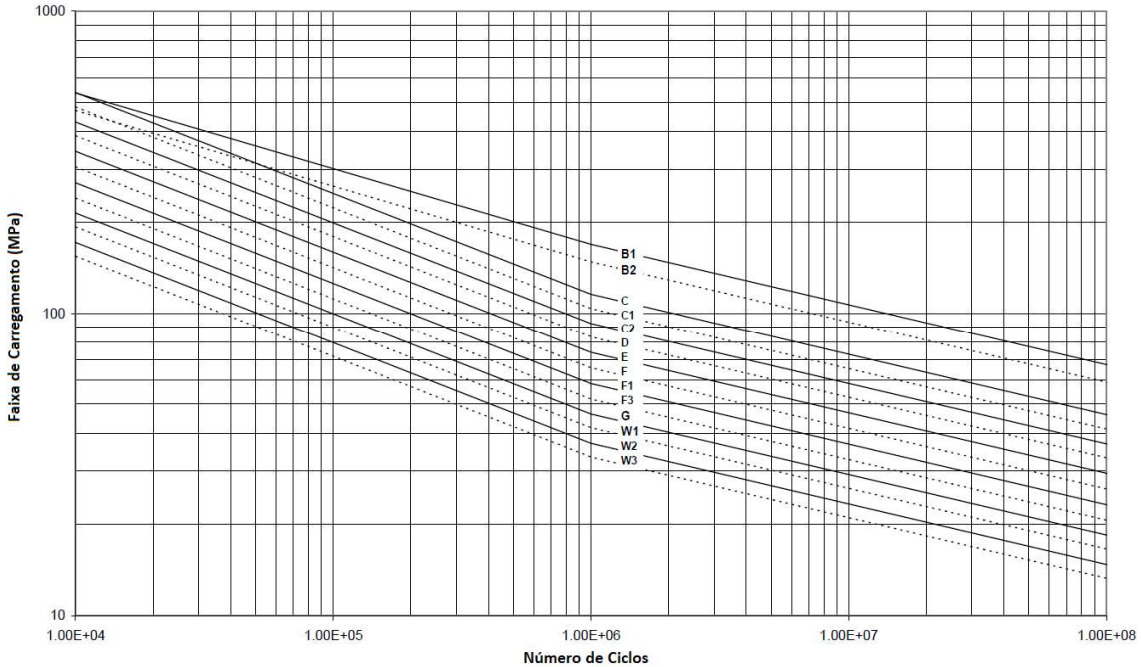


FIGURA 4. Curvas S-N para exposição à água do mar com proteção catódica. Fonte: DNVGL (2016).

A terceira condição de análise, que leva em conta o fluido transportado com permeação de gases corrosivos (como por exemplo CO_2 ou H_2S) para a região anular das armaduras de tração, foi simulada pela utilização da curva C, que inclui a formação de concentradores de tensão por fatores como oxidação, pitting, entre outros. Uma vez que a norma não fornece diretamente as curvas de acordo com o tipo de fluido transportado, a curva C foi escolhida por ser a mais adequada por caracterizar condições mais agressivas de operação. Também foram comparados ambos os ambientes, água do mar e ar, para este caso.

2.2 Regra de Palmgren-Miner

Segundo Shigley et al. (1988), considerando que um corpo é capaz de suportar determinado dano total *D*, se este é submetido a uma série de danos D_1,D_2, ...,D_n, pode ser dito que o corpo irá falhar se a condição dada pela Equação 3 for satisfeita:

$$\sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{n}} \frac{\mathrm{D_i}}{\mathrm{D}} = 1 \tag{3}$$

Se este corpo é sujeito a uma série de k blocos de tensão $\Delta\sigma_i$, por n_i ciclos cada, a regra de Palmgren-Miner é dada pela Equação 4 (DNVGL et al., 2016):

$$\sum_{\boldsymbol{i=1}}^{\boldsymbol{k}} \frac{n_i}{N_i} = \frac{1}{a}\sum_{\boldsymbol{i=1}}^{\boldsymbol{k}} n_i \cdot (\Delta\sigma_i)^m \leq \eta \tag{4}$$

em que, N_i é o número de ciclos para falha para determinada variação de tensão $\Delta\sigma_i$obtido na curva S-N do material, e η é o fator de uso, definido pela Equação 5 a seguir:

$$\eta = \frac{1}{\mathrm{DFF}} \tag{5}$$

em que DFF é o fator de fadiga de projeto, dado pela Tabela 3, de acordo com as condições de trabalho da estrutura. Apesar de ser muito utilizada por sua simplicidade, a regra de Palmgren-Miner possui algumas limitações, principalmente por não levar em conta a ordem em que os blocos de tensão são aplicados ou não considerar diferentes comportamentos para altos níveis de tensão.

TABELA 3. Fatores de fadiga de projeto (DFF)

Fatores de Fadiga de Projeto (DFF)- Classes de segurança		
Baixo	Normal	Alto
3	6	10

Fonte: Adaptado de DNVGL (2005).

2.3 Rotina computacional

Foi implementada uma rotina computacional em linguagem Python para cálculo do dano acumulado através da regra de Palmgren-Miner (Equação 4). Os valores de entrada para o cálculo são os blocos de carregamento a que a estrutura está sujeita e os respectivos números de ciclos, além da curva S-N aplicada para o caso e o fator de uso(η).

A rotina computacional fornece como dado de saída a porcentagem de dano acumulado sofrida pela estrutura, assim como se esta falha por fadiga ($D \geq \eta$) ou não ($D < \eta$).

2.4 Dados

A base de dados utilizada para as simulações na rotina computacional e cálculos da porcentagem de dano acumulado foi construída a partir de valores arbitrários típicos de carregamento. Os valores de tensão média foram baseados em uma aplicação típica de forças máxima e mínima na armadura mais externa de um duto flexível, com diâmetro interno de 294,8 milímetros e uma espessura de 5 milímetros. Os valores de tensão média e o número de ciclos para cada carregamento são apresentados na Tabela 4.

TABELA 4. Dados do carregamento.

Carregamento	Tensão (MPa)	Nº de Ciclos	Carregamento	Tensão (MPa)	Nº de Ciclos
1	20,394	48850	11	16,890	10000
2	20,716	48850	12	34,769	12750
3	19,939	51450	13	12,214	95000000000
4	20,049	147950	14	10,234	1150000000
5	19,449	176200	15	70,120	2150
6	17,229	20000000	16	29,000	5000000000
7	17,229	80000000	17	22,222	33900
8	25,639	4000000	18	18,765	49350
9	25,639	10000000	19	23,476	50000
10	30,450	43950	20	21,009	11700

Fonte: Autores (2021).

Com o intuito de avaliar a ação do ambiente de trabalho no dano acumulado na armadura do duto flexível para um mesmo grupo de carregamentos e números de ciclos, é necessário que haja a definição de certos parâmetros de entrada para a simulação, como o fator de fadiga do projeto (DFF), o tipo de curva S-N e o número de ciclos ocorridos para a mudança da inclinação da curva. Para cada um dos ambientes de trabalho analisados, os parâmetros escolhidos são evidenciados pela Tabela 5.

TABELA 5. Parâmetros de entrada para rotina computacional

Ambiente de trabalho	DFF	Curva	Ciclos para mudança de inclinação da curva
Ar	10	B1	10000000
Ar	10	C	10000000
Água do mar	10	B1	1000000
Água do mar	10	C	1000000

Fonte: Autores (2021).

Para os diferentes ambientes de trabalho foram escolhidos parâmetros de entrada que pudessem representar um mesmo tipo de operação e instalação dos dutos, além de possibilitar a comparação entre eles. O uso do fator de uso 10 deve-se à norma DNV-RP-F204 e os fatores de fadiga do projeto padrão (Standard DFF), considerando que o modelo trabalha com uma classe de segurança alta e que o riser de estudo apresenta conceitos de riser tradicionais conhecidos por possuírem confiabilidade aceitável.

3. RESULTADOS

A partir da utilização da rotina computacional desenvolvida e aplicando os parâmetros de entrada descritos nos tópicos anteriores, foi calculado o dano acumulado na segunda armadura do riser flexível hipotético e estimado se este irá falhar ou não por fadiga após os ciclos de carregamento apresentados pela Tabela 5. Os resultados para cada um dos cenários podem ser encontrados a seguir na Tabela 6.

TABELA 6. Resultados

Ambiente de Trabalho	Curva	Dano Acumulado	Falha?	Diferença do valor do dano com a mudança de curva de B1 para C
Ar	B1	7,0583E-16	Não	+ 225487,72%
Ar	C	1,59156E-12	Não	
Água do Mar	B1	1,11454E-15	Não	+ 355820,34%
Água do Mar	C	3,96576E-12	Não	

Fonte: Autores (2021).

Apesar das diferentes configurações de instalação, formação de concentradores de tensão e ambiente de trabalho, para o carregamento hipotético aleatório, os valores para dano acumulado na armadura do riser são bastante reduzidos, e não são suficientes para caracterizar falha, seguindo a regra de Palmgren-Miner. Entretanto, cabe ressaltar que, apesar do valor dano acumulado ser muito pequeno para todos os casos, a presença de concentradores de tensão (curva C) aumentou o valor em 225487% e 388820%, no Ar e Água do Mar, respectivamente, quando comparados com o material base extrudado (curva B1).

Os resultados obtidos a partir da rotina computacional estão dentro do esperado pela hipótese inicial, com valores maiores de dano na água do mar e quando há a possibilidade de formação de concentradores de tensão, uma vez que ambas são condições de trabalho consideradas mais severas, com efeitos mais profundos na estrutura do riser. Também é importante frisar que o carregamento hipotético, para aproximar os resultados aos de uma situação real de operação, busca simular a ocorrência real de carregamentos dinâmicos de tensões mais elevadas quando submetidos a tempestades de recorrência centenária ou decenária. O mesmo também é feito para carregamentos típicos operacionais ao longo de toda a vida do duto, provindos por exemplo da movimentação da plataforma flutuante de petróleo sujeita a ações de onda, vento e correnteza, caracterizados por um número de ciclos bastante elevados com valores baixos detensão.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados pode-se concluir o seguinte:

a) A presença de gases corrosivos no espaço anular das armaduras de tração tem um efeito direto na vida em fadiga. Apesar do valor absoluto do dano acumulado ser bastante

pequeno, para um mesmo carregamento, uma situação simulada de ambiente corrosivo aumentou este valor em mais de 200000% para os ambientes de trabalho estudados.

b) O ambiente corrosivo favorece o surgimento de concentradores de tensão e este é um fenômeno relativamente frequente nas armaduras de risers flexíveis. Sua ocorrência deve-se, por exemplo, à corrosão gerada por ambientes anulares ácidos (também conhecidos como sour environment), facilitando o surgimento de trincas na superfície corroída, podendo levar à falha por fadiga.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Vale destacar que apesar das curvas apresentadas nas normas, é possível, como sugestão para futuros desenvolvimentos, baseando-se nos resultados obtidos neste trabalho, levantar-se curvas S-N específicas para determinadas condições de operação. Tais curvas específicas, se levantadas, podem resultar em valores de dano acumulado mais próximos de uma situação operacional. Além disso, análises mais aprofundadas utilizando-se propagação de trincas ou utilizando-se carregamentos dinâmicos levantados a partir das características operacionais da locação onde o riser está instalado também podem contribuir para resultados de simulação mais próximos de uma condição de trabalho.

Por fim, é importante frisar que o material e os cuidados na construção e soldagem dos arames das armaduras é crucial para a vida em fadiga do riser flexível. As normas oferecem diferentes curvas S-N para, por exemplo, diferentes formas de soldagem e montagem de risers, e para cada uma das curvas, o dano acumulado será diferente. Numa análise para uma situação real de operação, diferentes configurações de construção dos dutos poderão resultar numa vida em fadiga não compatível com o esperado e alterações no projeto ou na fabricação do riser devem ser consideradas.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API Recommended Practice 17J - Specification for Unbonded Flexible Pipe. Washington D.C., API Publishing Services, 2009

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API Recommended Practice 17B - Specification for Unbonded Flexible Pipe. Washington D.C., API Publishing Services, 2014

ASTM E1150 - Standard Definitions of Terms Relating to Fatigue, ASTM International, 1993.

BAI, Q., BAI, Y. Subsea pipeline design, analysis, and installation. Elsevier, 30 Corporate Drive, Suite 400, Burlington, MA 01803, EUA, 2010

BARBOSA, N. Mapeamento dos Processos e Modos de Falha no Descomissionamento de Dutos Flexíveis Submarinos. Dissertação em Engenharia Naval e Oceânica - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 74p., 2018,

BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J.K. Elementos de Máquinas de Shigley - Projeto de Engenharia Mecânica. The McGraw-Hill Companies Inc., Nova Iorque, NY, EUA, 2008

DNVGL. Recommended Practice - DNV-RP-C203 - Fatigue Strength Analysis of Offshore Steel Structures. Høvik, Noruega, Det Norske Veritas, 2016

DNVGL. Recommended Practice - DNV-RP-F204 - Riser Fatigue. Høvik, Noruega, Der Norske Veritas, 2005

GASPARETTO, V. Método De Avaliação Da Vida À Fadiga De Risers Flexíveis Através Do Monitoramento Das Deformações Dos Arames Da Armadura De Tração. Dissertação em Engenharia Oceânica - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 96p., 2014,

AGRADECIMENTOS

À UFJF por permitir a participação dos discentes Mariana Cristina Pereira e Silva e Henrique Ayres de Oliveira como Voluntários no Programa de Iniciação Científica, o que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.